

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-334317

(43)Date of publication of application : 04.12.2001

(51)Int.CI.

B21D 26/02

(21)Application number : 2000-157427

(71)Applicant : JAPAN SCIENCE & TECHNOLOGY
CORP

(22)Date of filing : 26.05.2000

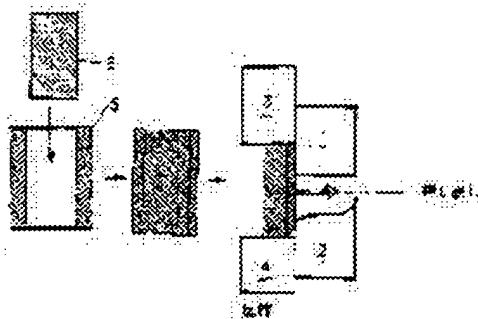
(72)Inventor : OHASHI TAKAHIRO

(54) BULGING APPARATUS OF THIN-WALLED MATERIAL, BULGING METHOD, AND FILLING MATERIAL FOR THIN-WALLED MATERIAL BULGING

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To enable bulging having a material/dimension being difficult in a conventional forming so as to improve the efficiency of the manufacture by improving a deformation limit of a material to be formed of a thin-walled hollow material, etc., and preventing a thin-walled material of a tube, etc., from a folding back due to two step buckling in bulging the thin-walled material.

SOLUTION: A bulging apparatus of a thin-walled material is provided with a forming die either of an open type or a closed die, a material to be formed of a thin-walled material of a tube/channel/etc., a pressing apparatus to compress the material to be formed in the forming die and to spread/deform sideward, and a filling matter of a plastic deforming body which is filled into an inner hole of the thin-walled material by the plastic deforming body having the melting point lower than the thin thickness material and a filling material of a solid body of a partially solidified body, which is spread/deformed by the pressing apparatus together with the thin-walled material and is removed after working.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

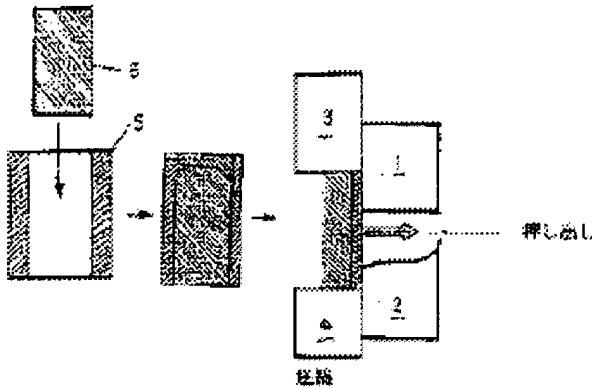
BULGING APPARATUS OF THIN-WALLED MATERIAL, BULGING METHOD, AND FILLING MATERIAL FOR THIN-WALLED MATERIAL BULGING

Patent number: JP2001334317
Publication date: 2001-12-04
Inventor: OHASHI TAKAHIRO
Applicant: JAPAN SCIENCE & TECHNOLOGY CORP
Classification:
- international: B21D26/02
- european:
Application number: JP20000157427 20000526
Priority number(s):

Abstract of JP2001334317

PROBLEM TO BE SOLVED: To enable bulging having a material/dimension being difficult in a conventional forming so as to improve the efficiency of the manufacture by improving a deformation limit of a material to be formed of a thin-walled hollow material, etc., and preventing a thin-walled material of a tube, etc., from a folding back due to two step buckling in bulging the thin-walled material.

SOLUTION: A bulging apparatus of a thin-walled material is provided with a forming die either of an open type or a closed die, a material to be formed of a thin-walled material of a tube/channel/etc., a pressing apparatus to compress the material to be formed in the forming die and to spread/deform sideward, and a filling matter of a plastic deforming body which is filled into an inner hole of the thin-walled material by the plastic deforming body having the melting point lower than the thin thickness material and a filling material of a solid body of a partially solidified body, which is spread/deformed by the pressing apparatus together with the thin-walled material and is removed after working.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-334317

(P2001-334317A)

(43)公開日 平成13年12月4日 (2001.12.4)

(51)Int.Cl.⁷
B 21 D 26/02

識別記号

F I
B 21 D 26/02

テーマコード(参考)
C

審査請求 未請求 請求項の数18 O L (全 8 頁)

(21)出願番号 特願2000-157427(P2000-157427)

(22)出願日 平成12年5月26日 (2000.5.26)

特許法第30条第1項適用申請有り 平成12年4月21日
社団法人日本塑性加工学会発行の「平成12年度塑性加工
春季講演会 講演論文集」に発表

(71)出願人 396020800

科学技術振興事業団

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(72)発明者 大橋 隆弘

群馬県前橋市天川大島町1407 東前橋住宅

(74)代理人 100093230

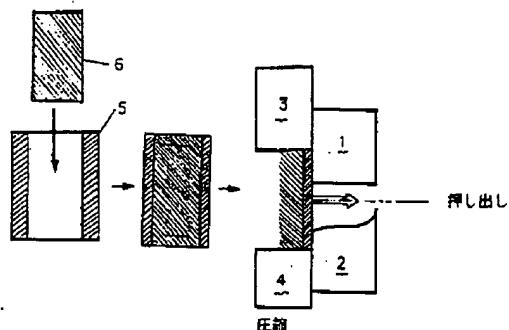
弁理士 西澤 利夫

(54)【発明の名称】薄肉材のバルジ加工装置、バルジ加工方法及び薄肉材バルジ加工用充填材

(57)【要約】

【課題】薄肉材のバルジ加工において、薄肉中空材等の被成形材の変形限界を向上し、パイプ等の薄肉材が二段座屈による捲くれ込みを起こさないようにし、従来成形困難であった材質・寸法値におけるバルジ加工による成形と製造の効率化を図る。

【解決手段】薄肉材のバルジ加工装置は、開放型又は密閉型の成形型と、パイプ、チャンネル等の薄肉材の被成形材料と、成形型内で被成形材料を圧縮し、側方へ広がり変形させる加圧装置と、薄肉材の内孔に薄肉材より融点の低い塑性変形体で固体又は半溶融固液体の充填材が充填され、加圧装置により薄肉材と共に拡張変形し、加工後に除去される塑性変形体の充填物とを具備する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 開放型又は密閉型の成形型と、薄肉材の被成形材料と、成形型内で被成形材料を軸方向に圧縮し、圧縮方向と交叉する側方外方に変形させる加圧装置と、薄肉中空材の内孔に充填され、加圧装置により薄肉中空材と共に拡張変形し、加工後に除去される塑性変形体の充填物とを具備してなる薄肉材のバルジ加工装置。

【請求項2】 請求項1において、装置中心に、膨出部を形成する又は形成しない心金を備えたバルジ加工装置。

【請求項3】 請求項1又は2のいずれかにおいて、加圧装置を一つの又は二つに分離するパンチから構成したバルジ加工装置。

【請求項4】 請求項1ないし3のいずれかにおいて、加圧装置の上下パンチの少なくとも何れかの加圧面で、被成形材料と充填材の端口全面を直接または充填材の被覆部を介して加圧するバルジ加工装置。

【請求項5】 請求項1ないし4のいずれかにおいて、加圧装置の加圧面と被成形材料と充填材の受圧面に差を持たせ、加圧時の充填材の逃げを形成したバルジ加工装置。

【請求項6】 請求項1ないし5のいずれかにおいて、加圧装置に充填物側に位置して突起を形成し、加工開始初期に、充填物を重点的に変形するようにしたバルジ加工装置。

【請求項7】 請求項1ないし5のいずれかにおいて、加圧装置に充填物側に位置して半撹孔を形成し、加工開始初期に、薄肉材を重点的に変形するようにしたバルジ加工装置。

【請求項8】 請求項1ないし7のいずれかにおいて、加圧装置として、一方の型をパンチと一緒にしたバルジ加工装置。

【請求項9】 請求項1ないし8のいずれかにおいて、薄肉中空材の表面に予め切り込みの形成された被加工材を使用するバルジ加工装置。

【請求項10】 請求項1ないし9のいずれかにおいて、薄肉材の被成形材料にパイプ等の薄肉中空材又はチャンネル材等の薄肉長尺型材を用いる薄肉材のバルジ加工装置。

【請求項11】 薄肉材に塑性変形体を充填し、プレス機等で圧縮加工し、開放型又は密閉型の中で充填物と共に材料を圧縮方向と交叉する側方外方に変形させて加工する薄肉材のバルジ加工方法において、塑性変形又は遅延弾性による変形等の大変形をする固体又は半固体からなる充填物を使用し、加工後に充填物を融解、溶解または遅延弾性により除去することを特徴とする薄肉材のバルジ加工方法。

【請求項12】 請求項11において、充填物として薄肉材より低融点の塑性変形体を用い、その除去が溶融、溶解、遅延弾性により可能な充填物を用いることを特徴

とするバルジ加工方法。

【請求項13】 請求項11又は12において、薄肉材の内面と固体又は半固体充填物の間に大きな摩擦力を生じさせ、充填物の塑性変形による大変形によって大きく側方へ押し出すことを特徴とするバルジ加工方法。

【請求項14】 請求項13において、充填物として、薄肉材に対して接着性のある材料を使用するか、又は薄肉材と充填物の間を接着剤を用いて接着した充填物を使用することを特徴とするバルジ加工方法。

【請求項15】 請求項13において、内面を粗面に形成するか、又は突起を形成した薄肉材を使用することを特徴とするバルジ加工方法。

【請求項16】 請求項11ないし13のいずれかにおいて、中空薄肉材が2段座屈による巻き込みを生じない程度に、薄肉材が張り出すことによって生じる空孔の広がりに対して十分供給可能な量の充填材を備えて加工するか又は充填物の量が十分な寸法で加工することを特徴とするバルジ加工方法。

【請求項17】 請求項11ないし16のいずれかにおいて、エラストマーで包み込まれた充填物を使用することを特徴とするバルジ加工方法。

【請求項18】 薄肉中空材の中空部に充填され、加圧装置により薄肉中空材と共に拡張変形し、加工後に除去される塑性変形体であって、薄肉材料より低融点を有し、溶融、溶解、遅延弾性により除去可能な薄肉材バルジ加工用充填物。

【発明の詳細な説明】

【発明の属する技術分野】この出願の発明は、薄肉部材のバルジ加工に関し、より詳細には、薄肉部材のバルジ加工に充填物を使用し、成形限界の改善と製造の効率化を図ることのできる薄肉部材のバルジ加工装置、加工方法及び薄肉部材の加工時に使用する充填材に関するものである。

【従来技術の問題点】従来から、金属製パイプ又はチャンネル等の中空体を液圧バルジ加工をする場合において、図14のような加工限界の結果を示し、一般に塑性歪み硬化係数n値が大きくなればなるほど加工限界が向上することが知られている。しかし、実際には、n値は材料に依存した値であり自由に選ぶことができるとは限らず、加工品に要求される材質と寸法値の関係によっては、成形限界のため張出变形途中で所定の寸法値に達しないうちに表面割れが生じるため、バルジ加工で製造できない場合があり、また加工効率の点からも問題を残していた。

【発明が解決しようとする課題】この出願の発明は、上記の課題を解決し、成形限界を向上することにより、従来困難であった材質・寸法値におけるバルジ加工による成形を可能とし、また加工上の効率化を図ることを目的としている。

【課題を解決するための手段】この出願の発明は、上記

の通りの課題を解決するものとして、第一には、バルジ加工装置として、開放型又は密閉型の成形型と、薄肉材の被成形材料と、成形型内で被成形材料を軸圧縮加工し、圧縮方向と交叉する側方外方に変形させる加圧装置と、薄肉中空材の内孔に充填され、加圧装置により薄肉材と共に拡張変形し、加工後に除去される塑性変形体の充填物とを備えてなる薄肉材のバルジ加工装置（請求項1）を提供する。さらに、心金の追加、加圧装置のパンチによる形態、被成形材の形状の特定によって、装置中心に、膨出部を形成する又は形成しない心金を備えるもの（請求項2）、加圧装置を一つの又は二つに分離するパンチから構成するもの（請求項3）、加圧装置の上下パンチの少なくとも何れかの加圧面で、被成形材料と充填材の端口全面を直接または充填材を介して加圧するもの（請求項4）、加圧装置の加圧面と被成形材料と充填材の受圧面に差を持たせたもの（請求項5）、加圧装置に充填物側に位置して突起を形成し、加工開始初期に、充填物を重点的に変形するもの（請求項6）、加圧装置に充填物側に位置して半撲孔を形成し、加工開始初期に、薄肉材を重点的に変形するもの（請求項7）、加圧装置として、一方の型と一体にするもの（請求項8）、薄肉中空材の表面に予め切り込みの形成された被加工材を使用するもの（請求項9）、さらに薄肉バルジ加工材としてパイプ等の中空薄肉材やチャンネル材等の長尺薄肉型材に適応されるバルジ加工装置（請求項10）をも提供する。また、この出願の発明は、第二には、バルジ加工方法として、パイプ、チャンネル等の薄肉中空材に塑性変形体を充填し、プレス機等で圧縮加工し、開放型又は密閉型の中で充填物と共に材料を側方へ広がり変形させて加工する薄肉材のバルジ加工方法において、塑性変形又は遅延弾性による変形等の大変形をする固体又は半固体からなる充填物を使用し、加工後に充填物を融解、溶解または遅延弾性で除去する薄肉材のバルジ加工方法（請求項11）を提供し、さらに充填物の物性を特定して、充填物として薄肉材より低融点の塑性変形体を用い、その除去を溶融、溶解、遅延弾性により可能とする充填物を用いるもの（請求項12）、薄肉材の内面と固体又は半固体充填物の間に大きな摩擦力を生じさせ、充填物の塑性変形による大変形によって大きく側方へ押し出すもの（請求項13）、充填物として、薄肉材に対して接着性のある材料を使用するか、又は薄肉材と充填物の間を接着剤を用いて接着した充填物を使用するもの（請求項14）、内面を粗面に形成するか、又は突起を形成した薄肉材を使用するもの（請求項15）、中空薄肉材料が2段座屈による巻き込みを起こさない程度に、薄肉材は張り出すことによって生じる空孔の広がりに対して十分供給可能な量の充填材を備えて加工するか又は充填物の量が十分な寸法で加工するもの（請求項16）、エラストマーで包み込まれた充填物を使用するもの（請求項17）を提供する。さらに、この出願の発明

は、第三には、バルジ加工方法用の充填材として、薄肉材の内孔に充填され、加圧装置により薄肉材と共に拡張変形し、加工後に除去される塑性変形体であって、薄肉材より低融点を有し、溶融、溶解、遅延弾性により除去可能な薄肉材バルジ加工用充填物（請求項18）をも提供する。以下、この出願の発明について、図面を用いてさらに詳細に説明する。

【発明の実施の形態】充填する内容物としての使用上考慮される基本的条件は、一つは、充填物が、塑性変形又は遅延弾性による変形等の大変形をする固体又は半固体であり、この場合、荷重を除いた後に変形が残っても構わない。他の一つは、充填物が、溶融、溶解、遅延弾性で除去可能であることである。さらに他の一つは、充填物の供給量が中空薄肉材料が2段座屈による巻き込みを生じない程度であることである。このため、薄肉材料は張り出すことによって生じる空孔の広がりに対して十分供給可能な量の充填材を備えて加工するか、又は充填物の量が十分な寸法で加工が行われるようにする。これは、本発明の加工では、充填物の押し出し量が多いほど、長手方向の押し潰しが回避できるので有利であり、座屈による折れ変形と張り出し変形の組み合わせによって加工限界が向上するからである。しかし、あまり充填物の押し出し量が多過ぎると、張り出し成形の占める要因が強くなつて加工限界が低下することが予想される。そこで、成形部の長手方向長さに短い寸法の加工、例えば押し出し部長さが短い加工が要求される製品の場合には、逆に充填物をあまり押さないように工夫してバランスをとることにより加工限界を向上できるように、充填物の量が十分な寸法で加工が行われる。他の実施形態として、例えば、薄肉材料の成形限界を向上するための方法としては、充填物として、薄肉材料に対して接着性のある材料を使用するか、又は薄肉材料と充填物の間を接着剤を用いて接着する方法がある。この場合、成形限界向上の理由の一つとして、摩擦や接着性の向上により、加工時における充填物と薄肉材の摩擦が増大し、周方向及び子午線方向の応力が減じられ、かつ、薄肉材の変形末期における局部薄肉化の急激な進展を抑制することが考えられる。さらに両部材間の摩擦性、接着性を増大させるための方法としては、薄肉材料の内壁を、ショットblast、ショットビーニング、やすり、砥石、砥粒、金属ブラシ、腐食液等により粗面を形成したり、また、薄肉材料の内面に突起を形成して充填物に食い込ませる構造とすることによっても得られる。充填物を使用するバルジ加工において、加工装置においては次の手段を探ることができる。

(1) 図3に示すように、充填物(6)の中に中空部(6a)を設けることにより、押出部長さが短い場合、圧縮工程において、充填物による押し広げと、軸圧縮による薄肉材料の広がり変形のバランスを調整することで成形限界を向上し効率的に成形する。

(2) 図4(a)に示すように、中空部に心金を入れることにより、側方方向に効率よく材料を流動させることができる。さらに、図4(b)に示すように、心金形状に膨らみを持たせることによって、充填物を同一のパンチストローク長さに対してより大量に押し出し方向に誘導することができる。

(3) 充填材の供給量が十分でなく解放構造の型(上型底面や下型上面)に被加工素材が完全に接触しない場合にあっては、密閉構造の型を使用して、加圧し続けることにより、型内に被加工素材、充填材を充満させることができるもの。

(4) 充填物の低融点物体の代わりとして、液溶性物質(塩など)を使用することができ、また、形状記憶物質又はその構造物(かご状)を使用することもできる。

(5) 充填物を被加工物との間に、例えば図10に示すように、ゴムなどのエラストマー(8)を介在させ、エラストマーの袋状物体充填物で包み込む等することにより、加工後の充填物の除去を容易にすることができます。この場合、必ずしも充填物を袋状に包み込んで密封しなくともよい。

(6) 充填材料の充填物による押し広げと、軸圧縮による薄肉材料の広がり変形のバランスを調整するために、図3に示した、充填物中空部(6a)を設けた充填物を使用する他に、図8に示すように、別々のパンチ(31、32)を用いて充填物と薄肉材料を別々に圧縮することによっても、同様の作用を得ることができます。この図8に示す別々の圧縮パンチを用いる場合、下方向からの荷重を加えるときにも同様の機構を採用することができる。別々のパンチを用いる場合、薄肉材料は張り出すことによって生じる空孔の広がりに対して十分供給可能な量の充填材を備えて加工すると、被加工物より充填物を多めのストロークで押し出すことができ、成形部の長手方向長さの向上を図ることができる。

(7) 図5に示すように、パンチ(3)又は(4)に逃げ(3a、4a)を設け、圧下中に充填物(6)を図面上方に(5図(a))、下方に(5図(c))、又は上下方向に(5図(b))、それぞれ材料を逃がすことにより、また、図6に示すように、圧下中に薄肉材料

(5)を覆い部(6b)を介して圧縮することにより、充填材料(6)による薄肉材料(5)の押し広げと、軸圧縮による薄肉材料(5)の広がり変形のバランスを調整することで成形限界を向上し効率的に成形することができる。パンチの圧縮箇所は上方又は下方の一方、上下両方のいずれを選択してもよく、また、覆い部(6b)は被加工物である薄肉材料(5)の一方の端口、又は両方の端口に形成される。

(8) 図9に示すように、上型とパンチを一体化した上型(11)とし、据え込みによって変形させ、据え込み限界を超える場合には工程を分割することにより、型構造を簡単にすることができます。図8に示した分割パンチ

に適用する場合には、上型(1)をパンチ(31)と一体化して加圧することもできる。

なお、パンチによる圧縮を、上下パンチの両方によるか、上下いずれか一方のパンチによるか、任意に選択される。また、加工の効率化を図るために次の手段を探ることができる。

(1) 本加工の前又は後加工として、充填物のみを圧縮する加工を行うことにより、効率よく型内に材料を充満させることができる。例えば、図7に示すように、先端パンチ状の突起(3b)若しくは窪み(3c)を設けることにより、加工開始初期に、充填物もしくは薄肉材料を重点的に変形させ、効率よく型内に材料を充満させることができる。突起付きパンチによれば、初期に充填物のみを圧縮し、次いで充填物と薄肉材料を同時に圧下して加工する。また、図12に示すように、半撲孔付きパンチによれば、初期に薄肉材料のみを圧縮し、次いで充填物と薄肉材料を同時に圧下して加工する。

(2) また、図11に示すように、薄肉材料の表面に予め切れ込み(9)を入れておくことにより、効率よく材料を充満させることができる。

(3) 本加工の最中に、充填物の一部又は全体を液化し、全体を成形しながら一部に液圧加工を加えることができる。

(4) 本加工の前加工として、充填物の液化、又は半溶融状態として圧力媒体として用いて液圧加工を行い、その後、そのまま固化して本加工を行うことができる。

(5) 本加工の後加工として、本加工後に、充填物の液化、又は半溶融状態にし、それぞれ圧力媒体として液圧加工を行うことができる。被成形材に関するパイプ等の薄肉中空材、又はチャンネル等の長尺薄肉型材は、パイプ、チャンネルの薄肉材そのものであってもよいし、パイプ、チャンネル等の薄肉材を一部に備える薄肉部材であってもよい。本発明のバルジ加工装置によれば、図13(a)、(b)に例示するように、薄肉中空材の外周に膨出管を形成して、維ぎ手管の素材として製作したり、膨出歯車を成形したりすることができます。

以上、パイプ、チャンネル等の薄肉材を少なくとも一部に備える被成形材料の加工について述べてきたが、板状部材、例えば半割り材等の加工についても応用できる。この場合加工装置は、例えば上述の各加工装置においてその半分がバルジ加工装置として組み立てられ、他の半分が固定基盤として構成される。

【実施例】この出願の発明によるバルジ加工は、図1に示すように、薄肉材料(5)の内孔に、薄肉材料より融点の低い塑性変形体で固体又は半溶融固液体の充填材

(6)を充填し、バルジ成形加工装置の所定の加工位置に取付け、プレス機又はアップセッタ機等により、開放型(1、2)の中でパンチ(3、4)で圧縮し、充填物と共に被加工物の薄肉材料(5)を側方に広がり変形させることで、薄肉製品の加工を行う。充填材(6)は、

加工後に融解され、除去される。なお、使用する型は密閉型であっても構わない。この出願の発明によるバルジ加工において、薄肉材料(5)に、A6063アルミニウム合金(350°C、8時間焼きなまし)製の径16mmφ、肉厚1mmのパイプを使用し、充填材(3)に、Bi49.0Pb18.0-Sn12.0-In21.0低融点合金を採用し、パイプに低融点合金を溶解、充填、凝固した後、側方押し出した実験を行った。この実験の結果が図2に示される。ここで、A6063焼きなまし材は、そのn値が約0.2程度であり、図14の従来の加工法における加工限界例を示したいずれの材料(ブロンズ、銅、純アルミニウム)よりもn値が低いものを使用した。一般に塑性加工の成形限界はn値に依存し、n値が高いほど有利であることからすれば、一般的に同一のバルジ加工法を施した場合はブロンズ、銅、純アルミニウムよりもA6063アルミニウム合金は加工限界が低くなると考えられる。しかしながら、本発明においては、図2から明らかなように本加工法におけるA6063アルミニウム合金パイプのバルジ成形の加工限界は、図14の従来の加工法におけるブロンズ、銅、純アルミニウムの結果と比較して、著しく高い成形限界が得られた。このことから、加工後に除去可能な塑性変形体を充填することによって、大きな加工限界を実現できることを教えており、本発明によれば、ブロンズ、銅、純アルミニウムよりも加工限界が低いA6063アルミニウム合金でも、高い成形限界が得られることが判る。

【発明の効果】以上、この出願のバルジ加工に係る発明によれば、従来の加工法における成形結果と比較しても、著しく高い成形限界を得ることができる。この結果、パイプ等の中空薄肉材や、チャンネル等の長尺薄肉型材において、薄肉材に対する大きな張出寸法の製品や難加工材のバルジ加工による成形加工を可能とし、また加工上の効率化を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】圧縮加工の概念図である。

【図2】本発明のバルジ加工における加工限界を表すグラフである。

【図3】中心部に中空部を持つ充填物を用いた実施例を示す図である。

【図4】中心部に心金を配置した実施例を示す図であり、(a)は勝出部のない心金の例を、(b)は勝出部を有する心金の例をそれぞれ示す。

【図5】上下パンチの少なくとも一方に逃げを形成する例を示す図である。

【図6】被加工物を充填物の覆い部を介して圧縮する例を示す図である。

【図7】先端に突起を形成したパンチにより加圧する例を示す図である。

【図8】充填物、被加工物を別々のパンチを用いて加圧する例を示す図である。

【図9】パンチと一体化した上型により加圧する例を示す図である。

【図10】エラストマーで包んだ充填物を用いた例を示す図である。

【図11】切り込み付き薄肉材料を使用する例を示す図である。

【図12】先端に半撹孔を形成したパンチより加圧する例を示す図である。

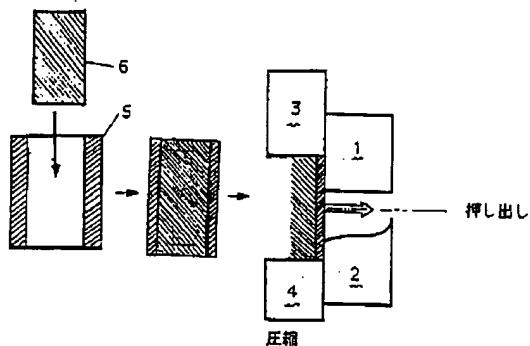
【図13】本発明のバルジ加工品の例を示す図である。

【図14】従来のバルジ加工における加工限界を表すグラフである。

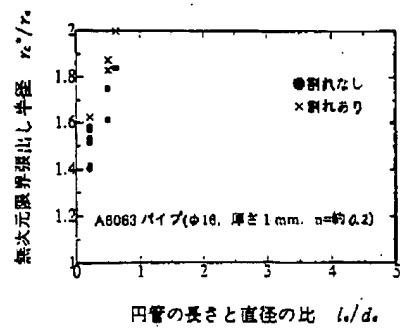
【符号の説明】

- 1、11 上型
- 2 下型
- 3、31、32 上パンチ
- 4 下パンチ
- 3a、4a 逃げ
- 3b、4b 突起
- 3c、4c 崩み
- 5 被加工物
- 6 充填物
- 6a 中空部
- 6b 覆い部
- 7 心金
- 7a 勝出部
- 8 エラストマー
- 9 切り込み
- 10 半撹孔

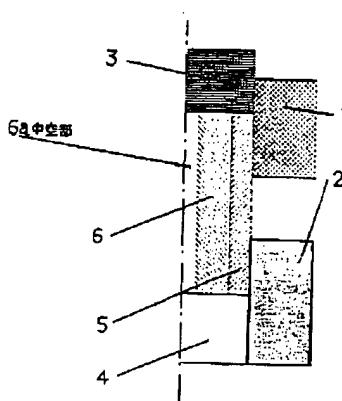
【図1】



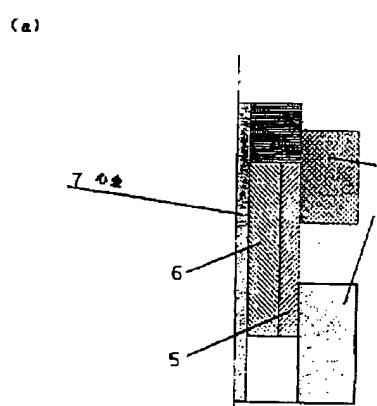
【図2】



【図3】



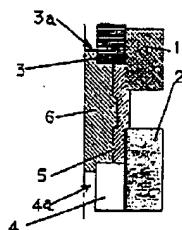
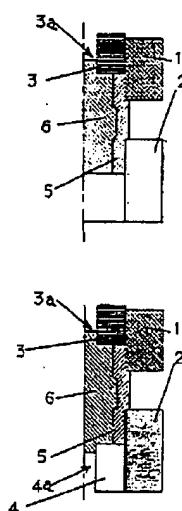
【図4】



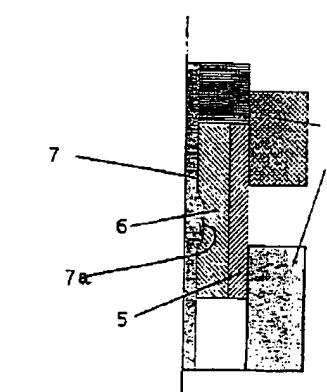
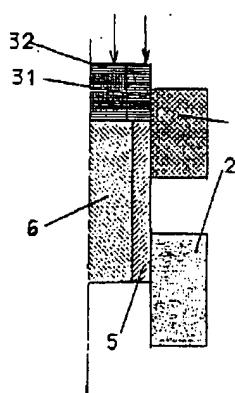
(a)

(b)

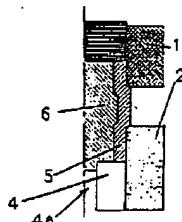
(c)



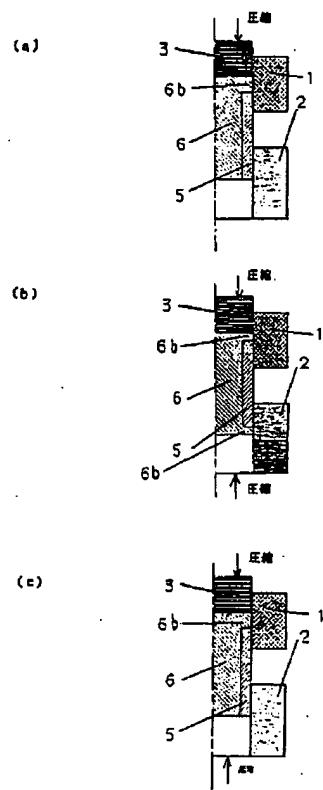
【図8】



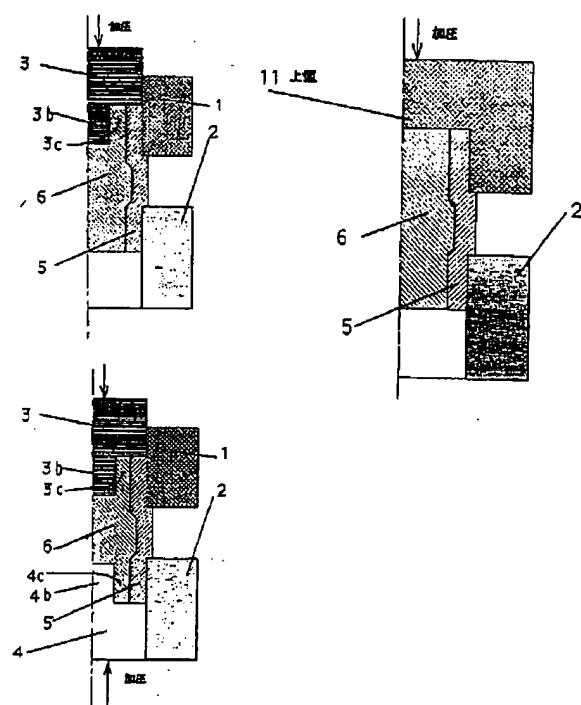
(c)



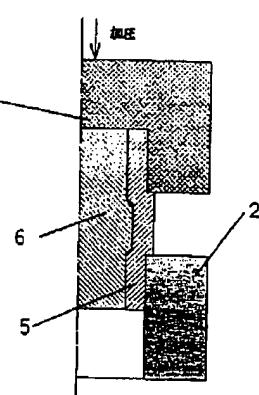
【図6】



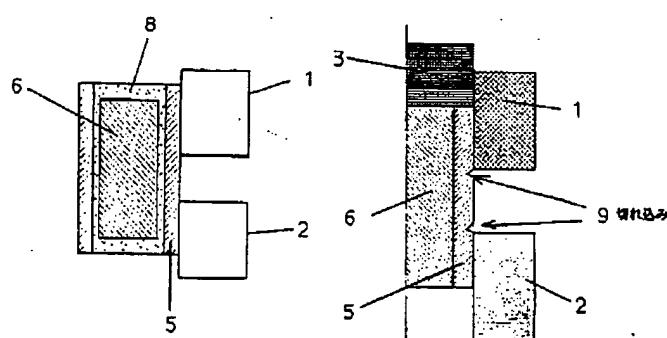
【図7】



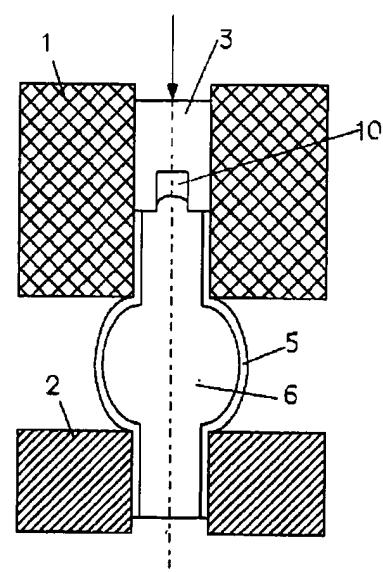
【図9】



【図10】

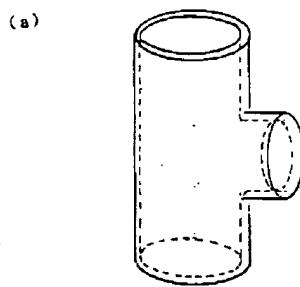


【図11】

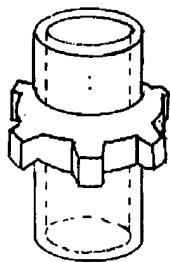


【図12】

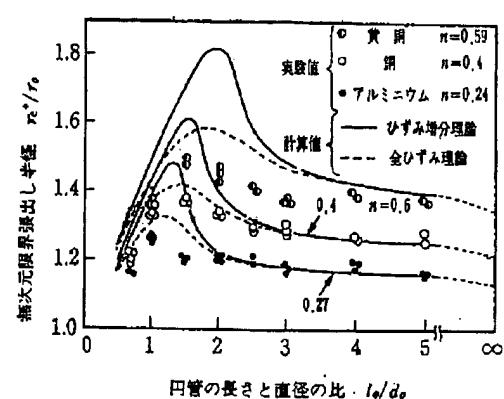
【図13】



(b)



【図14】



限界張出し量に及ぼす管の長さの影響
($d_0=40\text{ mm}$, $t_0=1\text{ mm}$)²¹⁾